Guide d’utilisation de l’indice de précipitations normalisé



Organisation météorologique mondiale
Temps · Climat · Eau

OMM-N° 1090

Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé



Organisation météorologique mondiale

Temps • Climat • Eau

OMM-N° 1090

2012

NOTE DE L'ÉDITEUR

La base de données terminologique de l'OMM, METEOTERM, et la liste des abréviations peuvent être consultées aux adresses http://www.wmo.int/pages/prog/lsp/meteoterm_wmo_fr.html et http://www.wmo.int/pages/themes/acronyms/index_fr.html.

OMM-N° 1090

Président du Comité des publications
Organisation météorologique mondiale (OMM)
7 bis, avenue de la Paix
Case postale 2300
CH-1211 Genève 2, Suisse

Tél.: +41 (0) 22 730 84 03
Fax: +41 (0) 22 730 80 40
Courriel: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-21090-6

TABLE DES MATIÈRES

GUIDE D'UTILISATION DE L'INDICE NORMALISÉ DE PRÉCIPITATIONS

PRÉFACE

Savoir quel indice de sécheresse serait le mieux adapté à tel ou tel climat et à telle ou telle application est une question qui suscite force débats au fil des ans. Bon nombre de définitions et d'indices de la sécheresse ont vu le jour et certains auteurs se sont essayés à formuler des avis éclairés sur le sujet.

Cela étant, un atelier interrégional sur les indices et les systèmes d'alerte précoce applicables à la sécheresse s'est tenu à l'Université du Nebraska, à Lincoln (États-Unis d'Amérique), du 8 au 11 décembre 2009. Cet atelier était coparrainé par la Faculté des ressources naturelles (SNR) de l'Université du Nebraska, le Centre américain d'atténuation des effets de la sécheresse (NDMC), l'Organisation météorologique mondiale (OMM), l'Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (NOAA), le Ministère de l'agriculture des États-Unis d'Amérique (USDA) et le Secrétariat de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CCD). Il réunissait 54 experts représentant 22 pays de toutes les régions du monde. Les participants y ont passé en revue les indices de sécheresse dont on se sert à l'heure actuelle dans diverses régions du monde pour décrire les sécheresses météorologiques, agricoles et hydrologiques. Ils ont évalué la capacité de collecte d'informations sur les incidences des sécheresses, analysé les techniques actuelles et nouvelles de suivi de la sécheresse et débattu de la nécessité de s'entendre sur l'utilisation d'indices normalisés correspondant aux divers types de sécheresses.

Les experts ainsi réunis ont élaboré et approuvé la Déclaration de Lincoln sur les indices de sécheresse, dans laquelle ils recommandaient l'utilisation, par tous les Services météorologiques et hydrologiques nationaux, d'un indice de précipitations normalisé (SPI – Standardized Precipitation Index) comme critère de sécheresse en météorologie, et ce, en plus des autres indices dont ceux-ci se servent déjà. Ils y recommandaient aussi la rédaction d'un manuel détaillé d'utilisation de l'indice SPI. En juin 2011, le Seizième Congrès météorologique mondial a adopté une résolution par laquelle il approuvait ces deux recommandations. Le Congrès a également demandé que le manuel d'utilisation soit publié et distribué dans toutes les langues officielles de l'ONU.

Le texte intégral de la Déclaration de Lincoln sur les indices de sécheresse figure sur le site Web de l'OMM à l'adresse suivante: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/meetings/wies09/documents/Lincoln_Declaration_Drought_Indices.pdf.

L'OMM souhaite remercier Mark Svoboda, Michael Hayes et Deborah A. Wood, du Centre américain d'atténuation des effets de la sécheresse (NDMC) de l'Université du Nebraska, d'avoir rédigé le Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé[1]. Il faut espérer que ce guide aidera les pays et les institutions à comprendre comment calculer l'indice SPI et à se servir de l'indice pour développer ou renforcer leurs capacités en ce qui concerne le suivi des situations de sécheresse et l'alerte précoce à la sécheresse.

Veuillez adresser toute question ou remarque portant sur le contenu du Guide, y compris toute proposition d'amélioration, par courriel à la Division de la météorologie agricole de l'OMM, à l'adresse suivante: agm@wmo.int.

---

1 Il convient de faire référence au présent Guide comme suit: Organisation météorologique mondiale, 2012: Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé (M. Svoboda, M. Hayes et D. Wood) (OMM-N° 1090), Genève.

1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

La sécheresse est un fléau insidieux qui découle d'une baisse des précipitations par rapport à des niveaux considérés comme normaux. Quand le phénomène se prolonge toute une saison, ou au cours d'une période plus longue encore, les précipitations sont insuffisantes pour répondre aux besoins de l'environnement et des activités humaines. La sécheresse doit être considérée comme un état plus relatif qu'absolu. La surveillance ou le suivi de la sécheresse fait appel à bon nombre de méthodes différentes. La sécheresse est un phénomène d'échelle régionale et chaque région possède ses propres caractéristiques climatiques. Les sécheresses que subissent les grandes plaines d'Amérique du Nord diffèrent de celles qui sévissent dans le nord-est du Brésil, en Afrique australe, en Europe occidentale, en Australie orientale ou dans la plaine de la Chine septentrionale. La quantité, le cycle saisonnier et la nature des précipitations varient grandement d'une de ces régions à l'autre.

La température, le vent et l'humidité relative sont aussi des facteurs déterminants pour caractériser la sécheresse. Le suivi de la sécheresse doit en outre tenir compte de l'application envisagée, étant donné que les incidences d'une sécheresse varient d'un secteur à l'autre. La notion même de sécheresse varie d'un utilisateur à l'autre suivant qu'il s'agit d'un responsable de la gestion de l'eau, d'un exploitant agricole, d'un opérateur de centrale hydro-électrique ou d'un biologiste spécialiste de la faune et de la flore sauvages. Au sein d'un seul et même secteur, la sécheresse peut aussi être perçue en fonction de divers points de vue, puisque ses effets peuvent présenter des différences bien marquées. Les sécheresses sont habituellement classées par type (météorologique, agricole et hydrologique) et diffèrent entre elles en fonction de leur intensité, de leur durée et de leur couverture spatiale.

2. INTRODUCTION À L'INDICE NORMALISÉ DE PRÉCIPITATIONS

Au fil des ans, les météorologues et les climatologues ont mis au point et utilisé partout dans le monde de nombreux indices de sécheresse, allant des plus simples, notamment le pourcentage de la normale des précipitations ou les centiles de précipitations, aux plus complexes, tel l'indice de sécheresse de Palmer. Aux États-Unis d'Amérique, des spécialistes de la question ont pris conscience du fait qu'un indice devait être simple, facile à calculer et statistiquement adapté et significatif. De plus, la compréhension des différents effets que peuvent avoir des déficits de précipitations sur les eaux souterraines, sur le volume stocké dans les réservoirs, sur l'humidité du sol, sur le manteau neigeux et sur l'écoulement des cours d'eau a conduit les scientifiques américains McKee, Doesken et Kleist à mettre au point, en 1993, l'indice de précipitations normalisé (indice SPI).

L'indice SPI (McKee et al., 1993, 1995) est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs. Le programme de calcul de l'indice s'exécute aussi bien dans un environnement Windows que sous UNIX. Le présent guide d'utilisation décrit la version fonctionnant sous Windows.

Pour calculer l'indice SPI, il faut disposer idéalement de relevés mensuels s'étalant sur au moins 20 à 30 ans, mais de préférence sur 50 à 60 ans, voire plus, ce qui constitue la période optimale (Guttman, 1994). Il est possible d'exécuter le programme si de telles séries présentent des données manquantes, mais le degré de confiance à accorder aux résultats s'en trouve alors affecté en fonction de la distribution des données manquantes par rapport à la durée de la période de relevés. De plus amples informations à ce sujet sont données dans la section 6 (Méthode de calcul).

Les climatologues préfèreraient travailler sur des séries de données complètes, c'est-à-dire des séries ne comportant aucune donnée manquante. Il est cependant bien plus probable que les jeux

de données ne soient complets qu’à 90 % voire 85 %. Dans la réalité, de nombreux utilisateurs ne peuvent s’offrir un tel luxe et doivent souvent se contenter de jeux de données ne comprenant qu’entre 75 et 85 % des relevés, à moins d’avoir recours à des techniques d’estimation pour combler les lacunes. Dans la pratique, il est peu fréquent de disposer de séries chronologiques de longue durée dans leur intégrité, si bien que l’utilisateur doit demeurer conscient des limites statistiques des phénomènes extrêmes quand il traite des séries portant sur des périodes relativement courtes pour divers emplacements. En fin de compte, l’utilisateur devra prendre une décision subjective quant à la tolérance concernant les données manquantes qu’il est disposé à incorporer dans les calculs et les analyses de l’indice SPI. En fonction du seuil de confiance recherché et de la méthode de calcul utilisée, il est possible d’avoir recours à une estimation des valeurs manquantes. Naturellement, moins les valeurs estimées seront nombreuses et mieux cela sera.

3. DESCRIPTION DE L’INDICE NORMALISÉ DE PRÉCIPITATIONS

Aperçu: L’indice SPI est fondé sur la probabilité de précipitations sur un laps de temps donné. La probabilité des précipitations observées est transformée en un indice qui sert aussi bien à l’expérimentation qu’à l’exploitation dans plus de 70 pays.

Destinataires: Les responsables de la planification en matière de sécheresse sont nombreux à apprécier la souplesse d’utilisation de l’indice SPI. L’indice est utilisé aussi dans divers instituts de recherche, des universités et des Services météorologiques et hydrologiques nationaux du monde entier, dans le cadre d’activités de suivi de la sécheresse et d’alerte précoce dans le domaine.

Avantages: Les précipitations représentent le seul paramètre dont il faut disposer. Il est possible de calculer l’indice pour diverses échelles de temps, celui-ci permettant de détecter rapidement les situations de sécheresse et d’en évaluer la gravité. Il est moins complexe que bien d’autres indices et notamment que l’indice de sécheresse de Palmer.

Inconvénients: Il ne permet de quantifier que le déficit de précipitations; les valeurs basées sur des données préliminaires peuvent changer et les valeurs varient si la durée de la période des relevés s’allonge.

Concepteurs: T.B. McKee, N.J. Doesken et J. Kleist, de l’Université de l’État du Colorado en 1993.

L’indice SPI a été conçu pour quantifier le déficit de précipitations à de multiples échelles de temps. Ces échelles de temps traduisent les incidences de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau. L’humidité du sol réagit relativement vite aux anomalies de précipitations, tandis que les eaux souterraines, le débit des cours d’eau et les volumes stockés dans les réservoirs sont sensibles aux anomalies de précipitations à plus long terme. C’est pourquoi McKee et al. (1993) ont initialement calculé l’indice SPI pour des laps de temps de 3, 6, 12, 24 et 48 mois.

Le calcul de l’indice SPI en un lieu, quel qu’il soit, est basé sur un historique de précipitations sur une longue durée correspondant au laps de temps étudié. On ajuste une distribution de probabilité à cette longue série de relevés, puis on la transforme en une distribution normale pour que l’indice SPI moyen, du lieu considéré et pour le laps de temps étudié, soit égal à zéro (Edwards et McKee, 1997). Les valeurs positives de l’indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, des précipitations inférieures à la médiane. Étant donné que l’indice est normalisé, il est possible de représenter de la même manière les climats humides et les climats arides; ainsi est-il possible aussi, grâce à l’indice SPI, d’assurer une surveillance des périodes humides.

McKee et al. (1993) ont utilisé le système de classification présenté dans le tableau des valeurs de l’indice SPI figurant ci-après (tableau 1) pour définir l’intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l’indice. Ils ont aussi défini les critères d’un épisode de sécheresse pour

une échelle de temps quelle qu'elle soit. Une sécheresse sévit quand l'indice présente de façon continue une valeur négative de -1,0 ou moins et se termine lorsque l'indice devient positif. Par conséquent, on distingue pour chaque épisode de sécheresse une durée, avec un commencement et une fin, et une intensité pour chaque mois durant lequel l'épisode se poursuit. Pour obtenir ce que l'on peut appeler la «magnitude» de la sécheresse, il suffit d'ajouter toutes les valeurs de l'indice pour l'ensemble des mois sur lesquels porte l'épisode.

Tableau 1. Valeurs de l'indice SPI

2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

En se fondant sur l'analyse des données de stations situées dans le Colorado, aux États-Unis, McKee a déterminé que l'indice SPI indiquait une légère sécheresse 24 % du temps, une sécheresse modérée 9,2 % du temps, une grande sécheresse 4,4 % du temps et une sécheresse extrême 2,3 % du temps (McKee et al., 1993). L'indice étant normalisé, ces pourcentages sont ceux qui paraissent vraisemblables pour une distribution normale des valeurs de l'indice. Ainsi est-il normal de trouver 2,3 % des valeurs dans la catégorie de sécheresse « extrême », cette valeur représentant la probabilité qu'une sécheresse extrême se produise. On notera en revanche que l'indice de sécheresse de Palmer atteint la catégorie «extrême» plus de 10 % du temps dans certaines parties de la région centrale des Grandes Plaines aux États-Unis. Le fait que l'indice soit normalisé permet de déterminer le caractère peu fréquent d'un épisode de sécheresse en cours (tableau 2), ainsi que la probabilité d'une précipitation suffisante pour y mettre fin (McKee et al., 1993). Cela permet aussi à l'utilisateur de comparer en toute confiance des sécheresses passées et actuelles entre des zones climatiques et géographiques différentes, quand il évalue selon quelle fréquence un épisode de sécheresse donné se produit.

Tableau 2. Probabilité d'occurrence

Indice SPI	Catégorie	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence
de 0 à -0,99	Légère sécheresse	33	1 fois tous les 3 ans
de -1,00 à -1,49	Sécheresse modérée	10	1 fois tous les 10 ans
de -1,5 à -1,99	Grande sécheresse	5	1 fois tous les 20 ans
< -2,0	Sécheresse extrême	2	1 fois tous les 50 ans

Quelques points essentiels:

- Étant donné que l’indice est normalisé, il est possible de représenter de la même manière les climats humides et les climats arides; l’indice SPI permet donc d’assurer aussi une surveillance des périodes humides. Il faut souligner toutefois que l’on ne peut se servir de l’indice SPI dans l’analyse des changements climatiques, puisque la température n’est pas un paramètre pris en compte.

- L’indice SPI a été conçu pour quantifier le déficit de précipitations à différentes échelles de temps.

- Ces échelles de temps traduisent les incidences de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau, ce qui était l’intention première des scientifiques qui ont conçu l’indice.

- La variation de l’humidité du sol en réponse aux anomalies de précipitations est relativement rapide, tandis que les eaux souterraines, le débit des cours d’eau et les volumes stockés dans les réservoirs sont sensibles aux anomalies de précipitations à plus long terme. La période sur laquelle porte l’indice SPI variera donc en fonction du type de sécheresse faisant l’objet des analyses et applications envisagées: on prendra par exemple l’indice SPI sur 1 à 2 mois pour une sécheresse météorologique, sur 1 à 6 mois pour une sécheresse agricole et sur 6 à 24 mois, voire plus pour une sécheresse hydrologique.

4. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Il est possible de résumer les avantages et les inconvénients que présente l’indice SPI comme suit:

Avantages

- L’indice SPI offre une bonne souplesse d’utilisation: il est possible de le calculer pour de multiples échelles de temps.

- Quand il porte sur un laps de temps relativement court, entre 1 et 3 mois par exemple, l’indice SPI permet de détecter rapidement les situations de sécheresse et d’en évaluer la gravité.

- L’indice SPI présente une bonne cohérence spatiale, ce qui permet d’établir des comparaisons entre des zones différentes soumises à des climats différents.

- Sa nature probabiliste le place dans un contexte historique, ce qui convient bien à la prise de décision.

Inconvénients

- L’indice SPI ne repose que sur les relevés de précipitations

- Le bilan hydrique du sol n’étant pas pris en compte, l’indice ne permet pas le calcul du rapport évapotranspiration/évapotranspiration potentielle (ET/ETP).

- Grâce à une variante de l’indice qu’ils ont mis au point, Vicente-Serrano et al. (2010) tentent de régler le problème mentionné ci-dessus en prenant en compte la température dans les calculs du nouvel indice qu’ils nomment indice de précipitations et d’évapotranspiration normalisé (SPEI). Les paramètres dont il faut disposer pour exécuter le programme sont les précipitations, la température moyenne et la latitude de la station. De plus amples informations au sujet de l’indice SPIE sont disponibles à l’adresse suivante: http://sac.csic.es/spei/index.html.

5. INTERPRÉTATION: DESCRIPTION DE LA SOUPLESSE D'UTILISATION DU POINT DE VUE SPATIAL ET TEMPOREL

Il est possible de donner à la sécheresse bien des définitions (Wilhite et Glantz, 1985). On peut en effet distinguer différents types de sécheresses que l'on regroupe en général en quatre catégories: les sécheresses météorologiques, agricoles, hydrologiques et socio-économiques. La sécheresse est un aléa qu'il est complexe de définir et de détecter. Ce fléau affecte de nombreux secteurs et couvre des échelles de temps multiples. Tout comme il est impossible de donner une définition unique de la sécheresse, il n'existe pas d'indice unique de la sécheresse pouvant répondre à toutes les exigences de l'ensemble des applications possibles.

Cela étant dit, l'indice SPI peut être calculé pour de nombreuses échelles de temps, ce qui est un réel avantage, qui permet de l'appliquer à bon nombre des différents types de sécheresses dont il vient d'être question. La possibilité de calculer l'indice SPI sur des échelles de temps multiples offre une souplesse temporelle dans l'évaluation des conditions de précipitations par rapport à l'approvisionnement en eau.

Comme cela a déjà été précisé, l'indice SPI a été conçu pour quantifier le déficit de précipitations à de multiples échelles de temps, soit un calcul de moyenne sur une fenêtre glissante. Ces échelles de temps traduisent les incidences de la sécheresse sur les différents types de ressources en eau et répondent aux besoins de différents décideurs. Les conditions météorologiques et l'humidité du sol (agriculture) réagissent relativement vite aux anomalies de précipitations, à une échelle temporelle de 1 à 6 mois par exemple, tandis que les eaux souterraines, le débit des cours d'eau et les volumes stockés dans les réservoirs sont sensibles aux anomalies de précipitations à plus long terme, c'est-à-dire à des échelles de temps de l'ordre de 6 à 24 mois voire plus. La période sur laquelle porte l'indice SPI variera donc en fonction du type de sécheresse faisant l'objet des analyses et applications envisagées: on prendra par exemple l'indice SPI sur 1 à 2 mois pour une sécheresse météorologique, sur 1 à 6 mois pour une sécheresse agricole et sur 6 à 24 mois, voire plus, pour une sécheresse hydrologique.

Le laps de temps pour lequel il est possible de calculer l'indice SPI varie de 1 à 72 mois. D'un point de vue statistique, une période allant de 1 à 24 mois représente le champ d'application présentant la meilleure utilité pratique (Guttman, 1994, 1999). Le seuil de 24 mois est basé sur la recommandation formulée par Guttman quant à la nécessité de disposer d'une série de données couvrant 50 à 60 ans environ. À moins d'avoir à sa disposition des données s'étalant sur 80 à 100 ans, la taille de l'échantillon est trop petite et le degré de confiance statistique à accorder aux estimations de probabilités correspondant aux traînes des distributions (extrêmes humides et secs) devient faible au-delà de 24 mois. En outre, le fait de ne disposer que d'une série de données sur 30 ans, soit la durée minimale (ou moins), diminue la taille de l'échantillon et affaiblit le degré de confiance. Il est techniquement possible de calculer l'indice SPI à partir de données portant sur moins de 30 ans, à condition toutefois de garder à l'esprit les limites statistiques et l'affaiblissement de la confiance dont on vient de parler.

5.1 Valeurs de l'indice de précipitations normalisé pour une période plus ou moins longue

5.1.1 *Indice SPI sur 1 mois*

Une carte de l'indice SPI calculé sur 1 mois ressemble beaucoup à une carte représentant le pourcentage de la normale des précipitations pour une période de 30 jours. L'indice dérivé offre en fait une représentation plus exacte des précipitations mensuelles, car la distribution est normalisée. À titre d'exemple, l'indice SPI sur 1 mois se terminant fin novembre établit la comparaison entre le total mensuel des précipitations pour novembre de l'année examinée et les totaux mensuels des précipitations en novembre de toutes les années pour lesquelles on dispose de relevés. Comme l'indice SPI sur 1 mois représente des conditions à courte échéance, ses applications sont en rapport étroit avec les sécheresses de type météorologique ainsi qu'avec

l’humidité du sol à court terme et le stress hydrique subi par les cultures, en particulier au cours de la période végétative. L’indice SPI sur 1 mois peut fournir une approximation des conditions représentées par l’indice d’humidité des cultures, qui fait partie de la série d’indices que regroupe l’indice de sécheresse de Palmer.

Il est possible de mal interpréter l’indice SPI sur 1 mois si l’on ne tient pas compte des caractéristiques climatiques du lieu. Dans les régions où il est normal que les pluies soient faibles au cours d’un mois donné, il est possible d’obtenir des valeurs négatives ou positives importantes alors que l’écart par rapport à la moyenne est relativement faible. L’indice SPI sur 1 mois peut aussi induire en erreur lorsque les valeurs des précipitations sont inférieures à la normale dans des régions où, pour le mois considéré, le total normal des précipitations est faible. Tout comme les cartes du pourcentage de la normale des précipitations, celles de l’indice SPI sur 1 mois fournissent des informations utiles, mais il faut faire preuve de prudence quand on les analyse.

NOTE: En théorie, il est possible de calculer l’indice SPI pour une période d’une durée inférieure à un mois, mais cela n’est pas conseillé dans la pratique. Il est vivement recommandé à l’utilisateur d’établir la moyenne sur une période minimale de quatre semaines. Certes, il serait possible de calculer l’indice sur une semaine, mais, dans la réalité, cela se traduirait probablement par la présence d’un grand nombre de jours secs (hauteur de pluie égale à 0,00, même sous des climats qui ne sont pas arides), et donc par un comportement erratique de l’indice (Wu et al., 2006). C’est pourquoi cette méthode est déconseillée. Cependant, il n’existe aucune objection à une mise à jour quotidienne ou hebdomadaire de l’indice SPI établi pour un laps de temps allant d’un mois à 24 mois. Cette méthode de la «fenêtre glissante» ne réduit en rien l’efficacité du programme, puisque la valeur continue d’être calculée pour une période minimale de quatre semaines qui se décale à chaque jour écoulé.

5.1.2 *Indice SPI sur 3 mois*

L’indice SPI sur 3 mois établit la comparaison entre le total des précipitations sur la période de trois mois examinée et les totaux des précipitations pour cette même période de trois mois de toutes les années pour lesquelles on dispose de relevés. En d’autres termes, l’indice SPI sur 3 mois se terminant fin février permet de comparer le cumul des précipitations des mois de décembre, janvier et février de l’année examinée aux cumuls de précipitations de décembre à février de toutes les années figurant dans l’historique des observations exécutées à la station étudiée. Chaque nouvelle année, les données d’observation viennent s’ajouter à la série des relevés dont la durée gagne ainsi une année et les valeurs de toutes les années sont une nouvelle fois prises en compte. Les valeurs peuvent alors évoluer, ce qui sera le cas quand on comparera, d’un point de vue historique et statistique, l’année en cours avec toutes les années précédentes composant la série chronologique des observations.

L’indice SPI sur 3 mois fournit une indication sur les conditions d’humidité à courte et moyenne échéances et une estimation des précipitations sur une saison. Dans les régions essentiellement agricoles, l’indice SPI sur 3 mois peut se révéler plus performant que l’indice Palmer à réponse lente ou que d’autres indices hydrologiques actuels pour mettre en évidence la nature des conditions d’humidité en cours. Dans la zone de culture du maïs aux États-Unis, l’analyse de l’indice SPI sur 3 mois se terminant fin août peut permettre de détecter les tendances des précipitations au cours des stades importants de la reproduction et du début du remplissage des grains à la fois du maïs et du soja. Quant à l’indice SPI sur 3 mois se terminant fin mai, il fournit une indication sur les conditions d’humidité du sol au début de la phase végétative.

Il importe de comparer l’indice SPI sur 3 mois à des laps de temps plus longs. Il est possible que des conditions relativement normales voire humides se produisent durant trois mois au milieu d’une sécheresse s’étalant sur une durée plus longue, ce qu’on ne pourrait mettre en évidence qu’en examinant une période relativement longue. En analysant des laps de temps relativement longs, on évite de confondre la présence temporaire d’une période humide avec la fin d’une sécheresse. Il est donc essentiel d’assurer un suivi constant pour déterminer à quels moments un épisode de sécheresse débute et prend fin et pour se garder ainsi d’annoncer à tort le début et la

fin d'une sécheresse. Pour veiller à cela, on peut mettre en place une série de «déclencheurs» de mesures fixées selon un programme de lutte contre la sécheresse.

Tout comme l'indice SPI sur 1 mois, l'indice SPI sur 3 mois peut prêter à confusion dans le cas de régions au climat normalement sec durant la période de 3 mois examinée. Des valeurs négatives ou positives importantes de l'indice SPI peuvent être associées à des cumuls de précipitations ne s'écartant que peu de la moyenne. Cette mise en garde peut s'expliquer dans le cas du climat méditerranéen de la Californie, de l'Afrique du Nord et du sud de l'Europe, à savoir des régions qui ne reçoivent que très peu de pluie durant certaines périodes de l'année et où on s'attend à ce qu'il en soit ainsi. Ces périodes se caractérisant par de faibles pluies, les cumuls historiques correspondants seront faibles, si bien que des écarts relativement petits, dans un sens ou dans l'autre par rapport à la moyenne, peuvent donner des valeurs négatives ou positives importantes de l'indice SPI. En revanche, cette période de trois mois peut constituer un indicateur bien adapté à certaines régions soumises au régime de la mousson.

5.1.3 ***Indice SPI sur 6 mois***

L'indice SPI sur 6 mois établit la comparaison entre les précipitations sur la période de six mois examinée et les totaux des précipitations pour cette même période de six mois de toutes les années pour lesquelles on dispose de relevés. À titre d'exemple, un indice SPI sur 6 mois se terminant fin septembre permet de comparer le cumul des précipitations d'avril à septembre de l'année examinée aux cumuls de précipitations de cette même période pour toutes les années écoulées.

L'indice SPI sur 6 mois fournit une indication sur les tendances des précipitations sur une saison et jusqu'à moyenne échéance; on considère que pour cette échelle de temps, il présente encore davantage de sensibilité aux conditions que l'indice Palmer. Un indice SPI sur 6 mois peut se révéler très performant pour mettre en évidence les précipitations sur des saisons bien précises. À titre d'exemple, un indice SPI sur 6 mois se terminant fin mars fournirait une très bonne indication des quantités de précipitations observées au cours de la saison humide allant d'octobre à mars, qui revêt une grande importance pour certaines zones méditerranéennes. À partir de 6 mois, on peut aussi commencer à associer l'information que fournit un indice SPI avec les anomalies du débit des cours d'eau et des niveaux des réservoirs, selon la région et la période de l'année considérées.

5.1.4 ***Indice SPI sur 9 mois***

L'indice SPI sur 9 mois fournit une indication sur les régimes de précipitations intersaisonniers, à moyenne échéance. Il faut en général au moins une saison pour que des conditions de sécheresse s'installent. Un indice SPI établi sur 9 mois et présentant des valeurs inférieures à -1,5 est habituellement un bon indicateur de conditions sèches aux conséquences importantes pour l'agriculture et pouvant affecter d'autres secteurs également. Pour certaines régions, on s'apercevra que la représentation cartographique de l'indice Palmer correspond assez bien à celle de l'indice SPI sur 9 mois. Pour d'autres régions, le rapprochement se fera davantage entre l'indice Palmer et l'indice SPI sur 12 mois. C'est à partir de 9 mois qu'on commence à établir le lien entre une sécheresse saisonnière de courte durée et une sécheresse à plus long terme pouvant se transformer en sécheresse hydrologique ou en sécheresse s'étalant sur plusieurs années.

5.1.5 *Indice SPI sur 12 mois et jusqu’à 24 mois*

À ces échelles de temps, l’indice SPI fournit une représentation des régimes de précipitations à longue échéance. L’indice SPI sur 12 mois établit la comparaison entre les précipitations sur une période de 12 mois consécutifs et celles enregistrées sur la même série de 12 mois consécutifs de toutes les années pour lesquelles on dispose de relevés. Étant donné que ces échelles de temps constituent le cumul de périodes plus courtes pouvant se situer au-dessus ou au-dessous de la normale, les valeurs des indices SPI établis pour une période relativement longue tendent à graviter autour de zéro, à moins qu’une tendance humide ou sèche bien distincte ne se soit installée. Les indices SPI pour ces échelles de temps sont en général associés au débit des cours d’eau, au niveau des réservoirs et au niveau des eaux souterraines à relativement long terme. Pour certaines stations, l’indice SPI sur 12 mois présente une bonne corrélation avec l’indice Palmer et les deux indices peuvent mettre en évidence des conditions analogues.

6. MÉTHODE DE CALCUL

L’indice SPI est déterminé par une normalisation des précipitations pour une station donnée après qu’on y a ajusté une densité de probabilité suivant la description qu’en donnent McKee et al. (1993, 1995), Edwards et McKee (1997) et Guttman (1998). La procédure de calcul de l’indice SPI est décrite en détail par McKee et al. (1993, 1995) et Edwards et McKee (1997). Les éléments fondamentaux tels que les présente Edwards (1997) sont exposé ci-après.

6.1 Méthode

- L’indice SPI d’un lieu donné se calcule, pour la période choisie, à partir des relevés à long terme des précipitations. La série des données de longue durée est ajustée à une distribution de probabilité que l’on transforme ensuite en une distribution normale pour que l’indice SPI moyen, du lieu considéré et pour le laps de temps étudié, soit égal à zéro (Edwards et McKee, 1997).

- Les valeurs positives de l’indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, des précipitations inférieures à la médiane.

- L’indice SPI indique qu’une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à -1,0 et qu’une sécheresse se termine quand sa valeur devient positive.

6.2 Mode de fonctionnement

- Les données sur les précipitations sont normalisées à l’aide d’une fonction de distribution de probabilité de telle manière que les valeurs de l’indice SPI constituent des écarts types par rapport à la médiane.

- La distribution étant normalisée, il est possible d’établir une estimation tant des périodes humides que des périodes sèches.

- Il est possible de se servir du cumul des valeurs pour analyser l’intensité de la sécheresse («magnitude»).

- Il faut disposer de relevés mensuels s’étalant sur une période continue d’au moins 30 ans, une série chronologique encore plus longue étant préférable.

- Quand il porte sur un laps de temps inférieur à un mois et supérieur à 24 mois, l’indice SPI devient peu fiable.

- Dans son interprétation, l'indice est invariant par rapport à l'espace considéré.

- Reposant par nature sur des probabilités (probabilité des précipitations observées transformée en un indice), l'indice est particulièrement utile dans les domaines de la gestion des risques et de la prise de décision.

7. SE PROCURER LE PROGRAMME

Le programme, disponible pour PC sous Windows, est téléchargeable gratuitement.

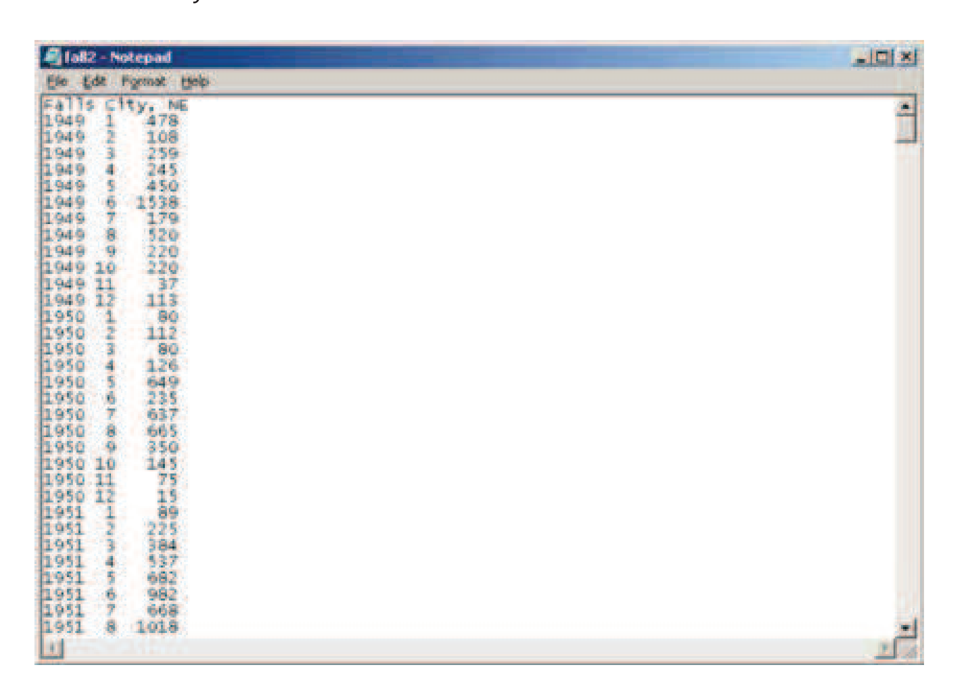
Il est possible de se procurer la dernière version du programme SPI (SPI_SL_6.exe), des fichiers types, tels ceux décrits ci-après, et les instructions pour un environnement Windows sur PC à l'adresse suivante: http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx.

Grâce à ce programme, il est possible de calculer l'indice SPI pour un lieu donné et sur un nombre de fenêtres temporelles pouvant aller jusqu'à six simultanément. Le programme a été compilé en C++ pour PC et toutes les bibliothèques sont incluses.

8. EXÉCUTER LE PROGRAMME SOUS WINDOWS

Voici comment exécuter le programme sous Windows:

1. Créez un fichier de données semblable à l'exemple suivant qui contient les données de précipitations de Falls City au Nebraska:



Tous les fichiers entrée doivent présenter cette disposition, c'est-à-dire comporter trois colonnes portant respectivement sur l'année, le mois et la valeur mensuelle des précipitations. Un en-tête, en général le nom de la station, doit figurer au début du fichier entrée, car dans le cas contraire, le programme produira un fichier sortie vide. Les cumuls de précipitations doivent figurer SANS décimales, soit en pouces soit en millimètres.

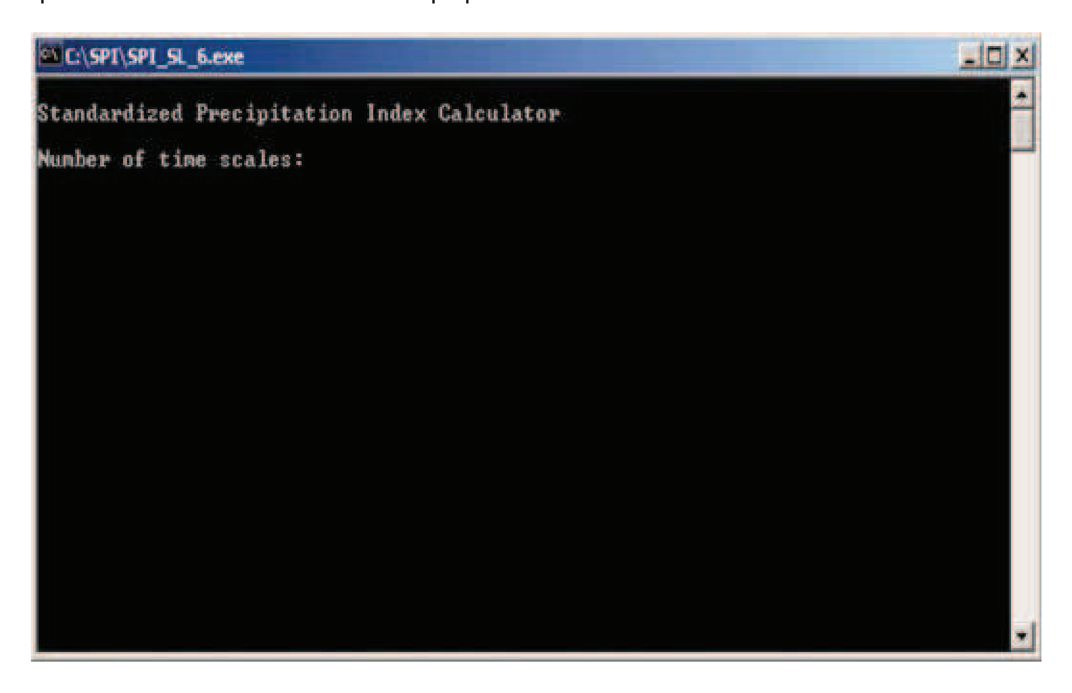
NOTE: L'espacement des colonnes et les données manquantes dans le fichier entrée exigent une certaine attention. Si la valeur du total mensuel des précipitations est manquante pour un ou plusieurs mois, il y a lieu d'inscrire -99 dans l'espace correspondant. Aucune ligne dans la colonne

des précipitations ne doit demeurer vide. La valeur des précipitations peut être égale à zéro, ce qui est le cas notamment pour les mois secs dans les régions arides ou pour les stations soumises à des régimes de saisons humides et sèches bien distinctes. L'idéal est de disposer de données mensuelles ou hebdomadaires sur une durée minimale de 30 ans, afin de pouvoir accorder un certain degré de confiance aux statistiques. C'est évidemment aussi le cas pour la plupart des indices utilisés pour évaluer tous les aspects climatologiques de la sécheresse pour une station ou une région donnée.

Pour créer les fichiers entrée, il est possible de se servir d'Excel ou de tout éditeur de texte, mais l'extension de chaque fichier doit être remplacée par «.cor» avant d'exécuter le programme.

2. Pour exécuter le programme, faites un clic droit sur le fichier SPI_SL_6.exe et sauvegardez-le. Lancez le programme par un double clic sur le fichier ainsi enregistré et suivez les instructions qui s'affichent dans la fenêtre contextuelle.

3. Indiquez le nombre d'échelles de temps pour le calcul de l'indice SPI:



4. Précisez les échelles de temps pour lesquelles l'indice SPI sera calculé. Dans l'exemple qui suit, l'utilisateur a choisi de calculer l'indice SPI pour les cinq échelles ou fenêtres temporelles qui suivent: 1 mois, 3 mois, 6 mois, 9 mois et 12 mois:

```
C:\SPI\SPI_SL_6.exe
Standardized Precipitation Index Calculator
Number of time scales: 5
timeScale1 1
timeScale2 3
timeScale3 6
timeScale4 9
timeScale5 12
```

5. Indiquez le nom du fichier entrée et celui du fichier sortie. Il est conseillé de donner à vos fichiers des noms qui correspondent au type d'analyse SPI à exécuter afin de conserver distinctement les résultats de chaque analyse:

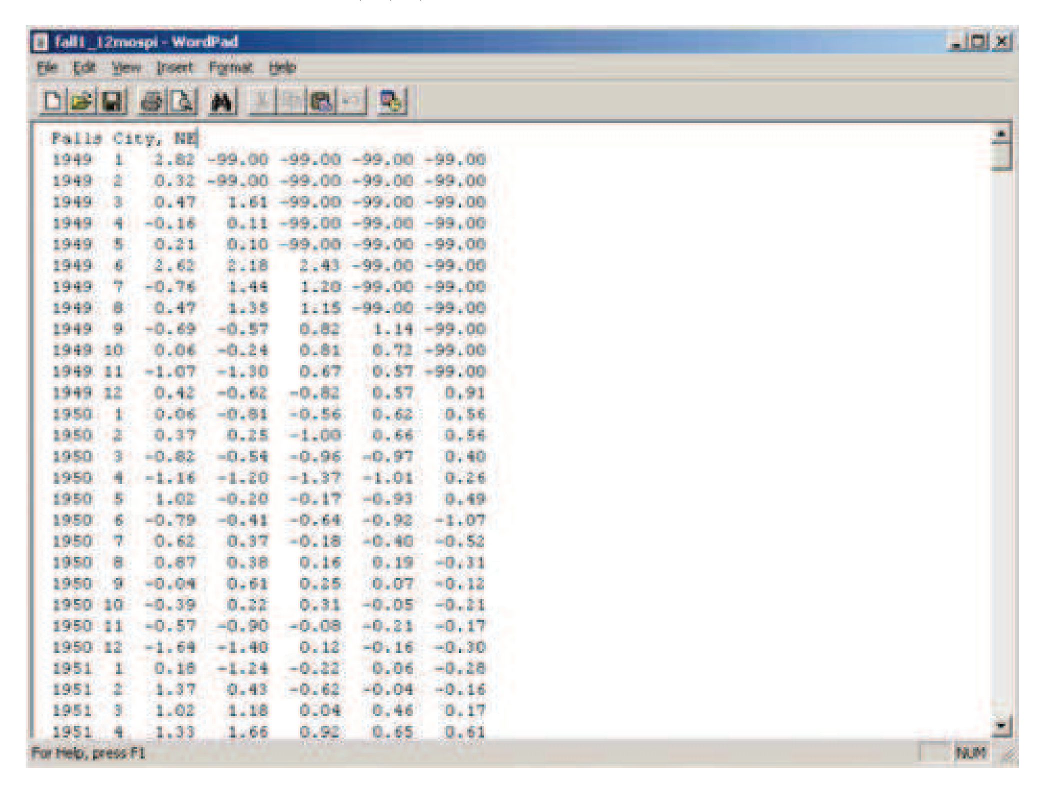
```
C:\SPI\SPI_SL_6.exe

Standardized Precipitation Index Calculator
Number of time scales: 5
timeScale1 1
timeScale2 3
timeScale3 6
timeScale4 9
timeScale5 12
Input file: fall.cor
Output file: fall1_12mospi.dat
```

Peu importe le nom que vous donnez au fichier sortie à condition qu'il ait pour extension «.dat». Le fichier sera placé dans le dossier où se trouve le fichier exécutable.

Il vous est ensuite possible de traiter les résultats à l'aide de l'application Notepad de Microsoft ou de tout autre logiciel de traitement de texte. Le fichier en sortie est sauvegardé sous la forme d'un fichier texte ASCII (MS-DOS). Il vous sera alors possible d'utiliser tout moyen à votre disposition pour réaliser des représentations graphiques ou des cartes à partir des données.

L'exemple d'un fichier sortie pour Falls City au Nebraska est décrit ci-après. Dans ce cas, le programme a été lancé pour une analyse destinée à fournir à partir du fichier entrée les indices SPI sur 1 mois, 3 mois, 6 mois, 9 mois et 12 mois. Les valeurs correspondantes figurent ainsi respectivement dans les colonnes 3, 4, 5, 6 et 7:



Falls City, NE

1949	1	2.82	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1949	2	0.32	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1949	3	0.47	1.61	-99.00	-99.00	-99.00
1949	4	-0.16	0.11	-99.00	-99.00	-99.00
1949	5	0.21	0.10	-99.00	-99.00	-99.00
1949	6	2.62	2.18	2.43	-99.00	-99.00
1949	7	-0.76	1.44	1.20	-99.00	-99.00
1949	8	0.47	1.35	1.15	-99.00	-99.00
1949	9	-0.69	-0.57	0.82	1.14	-99.00
1949	10	0.06	-0.24	0.81	0.72	-99.00
1949	11	-1.07	-1.30	0.67	0.57	-99.00
1949	12	0.42	-0.62	-0.82	0.57	0.91
1950	1	0.06	-0.81	-0.56	0.62	0.56
1950	2	0.37	0.25	-1.00	0.66	0.56
1950	3	-0.82	-0.54	-0.96	-0.97	0.40
1950	4	-1.16	-1.20	-1.37	-1.01	0.26
1950	5	1.02	-0.20	-0.17	-0.93	0.49
1950	6	-0.79	-0.41	-0.64	-0.92	-1.07
1950	7	0.62	0.37	-0.18	-0.40	-0.52
1950	8	0.87	0.38	0.16	0.19	-0.31
1950	9	-0.04	0.61	0.25	0.07	-0.12
1950	10	-0.39	0.22	0.31	-0.05	-0.21
1950	11	-0.57	-0.90	-0.08	-0.21	-0.17
1950	12	-1.64	-1.40	0.12	-0.16	-0.30
1951	1	0.18	-1.24	-0.22	0.06	-0.28
1951	2	1.37	0.43	-0.62	-0.04	-0.16
1951	3	1.02	1.18	0.04	0.46	0.17
1951	4	1.33	1.66	0.92	0.65	0.61

NOTE: La valeur -99,00 n'indique pas ici une valeur manquante. Elle correspond simplement aux premiers mois pour lesquels il a été impossible de calculer la valeur de l'indice SPI. Ainsi, dans la colonne 4, il faut attendre le troisième mois (troisième ligne) pour que l'indice SPI puisse être calculé. Il en va de même pour les colonnes suivantes jusqu'à la dernière où il faut attendre décembre 1949, c'est-à-dire douze mois, pour voir apparaître la première valeur de l'indice SPI sur 12 mois.

9. POSSIBILITÉS DE CARTOGRAPHIE

Beaucoup de pays calculent et cartographient périodiquement l'indice SPI et d'autres indices de sécheresse ou paramètres météorologiques. Voici un aperçu des méthodes souvent employées pour la cartographie des indices et indicateurs de sécheresse.

On dispose d'une multitude de moyens pour cartographier les variables météorologiques, notamment les indicateurs et indices normalisés de sécheresse. La plupart des données portant sur la sécheresse sont des données géographiquement ponctuelles à l'origine (données pour une station ou pour un emplacement précis). Certes, elles peuvent être utiles ainsi, mais c'est souvent sous forme de cartes, c'est-à-dire placées dans un contexte géographique, que l'on peut en tirer l'information qui se révèlera utile à des décideurs qui voudraient connaître l'intensité d'une phase de sécheresse et son étendue. Il est possible de positionner les données ponctuelles sur une carte et de fournir les produits ou caractéristiques dérivés pour chaque station afin de proposer davantage d'informations. Cela peut comprendre par exemple le pointage de la série chronologique d'un indicateur ou indice. Une telle représentation spatiale des détails présente l'inconvénient de ne fournir aucune indication sur les conditions entre les différentes stations pointées.

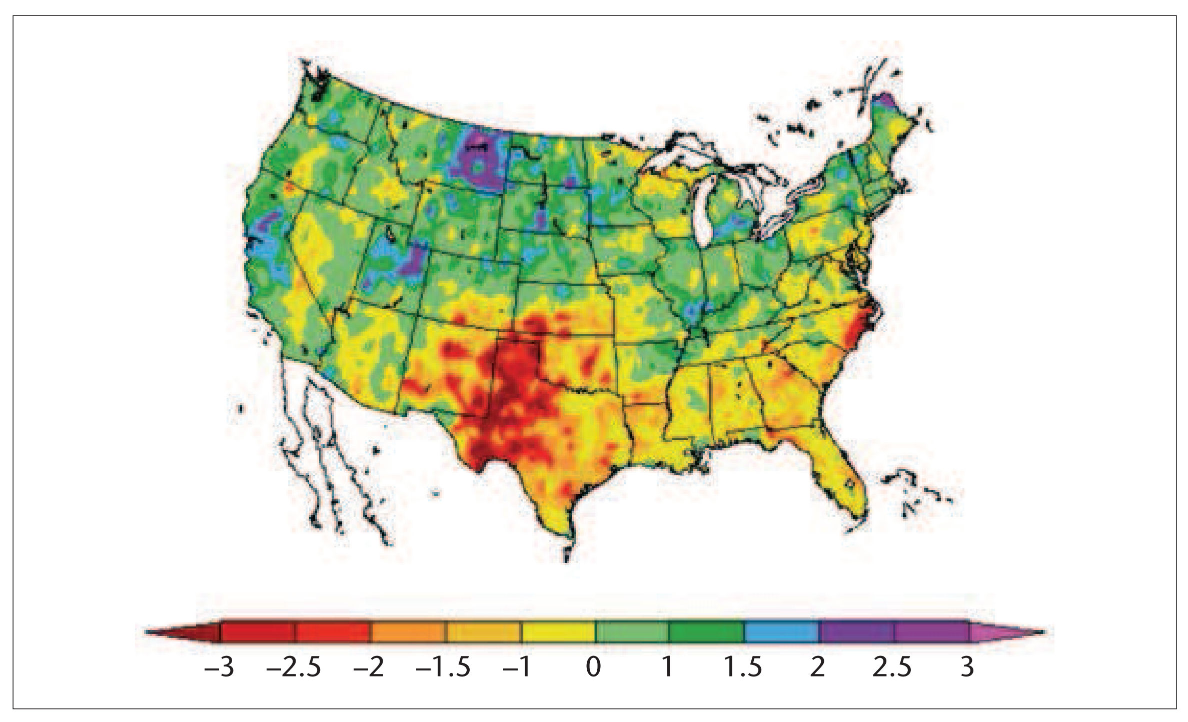
On dispose de différentes techniques pour dresser sur une carte une représentation géographique continue des conditions de sécheresse. L'une d'entre elles, reposant sur des relations mathématiques de l'indicateur ou indice entre les données ponctuelles d'origine, crée une surface de valeurs estimatives à des emplacements venant s'intercaler entre les stations. Bien qu'elle permette souvent d'obtenir une carte à l'aspect naturel, cette technique se fonde néanmoins sur des données correspondant à des points précis et la précision qu'elle offre est limitée par celle des données d'origine et par la technique d'interpolation. Il n'existe pas de méthode d'interpolation universelle s'appliquant à toutes les situations. Les techniques les plus communément utilisées sont le krigeage, la méthode des splines ou encore la pondération par l'inverse de la distance.

Chaque technique d'interpolation présente ses avantages et ses inconvénients propres. Certaines techniques offrent davantage de précision que d'autres, mais exigent un traitement plus long pour obtenir le résultat recherché. Le krigeage, qui tire ses origines d'applications dans le domaine de la géologie et de l'industrie minière, prend pour hypothèse qu'il existe entre les points de mesure une relation non aléatoire de variation spatiale. La méthode des splines est utilisée quand il importe de minimiser la courbure globale de la surface. On tire parti de la pondération par l'inverse de la distance lorsque le semis des points de données est diffus, mais suffisamment dense pour être représentatif de variations locales. Comme le nom de cette méthode l'indique, on pondère les données pour favoriser celles qui sont les plus proches du point traité.

On a également recours à la technique qui consiste à faire correspondre des données ponctuelles aux mailles d'une grille, pour les besoins du suivi ou de la cartographie des sécheresses météorologiques. Ces données peuvent aussi provenir de systèmes aéroportés, de radars ou de satellites. Les produits établis grâce aux données aux points de grille offrent un aspect moins naturel que les produits obtenus par interpolation, mais ils sont plus simples à utiliser à des fins de comparaison, car les mailles peuvent être de même dimension. Les mailles d'une grille peuvent varier en dimension de quelques degrés à un ou plusieurs mètres en fonction de la source des données et de l'application. Elles peuvent aussi présenter des données dont la fréquence temporelle varie entre une journée (ou plusieurs fois par jour) et une semaine ou plus. Aux États-Unis, les produits aux points de grille pour le suivi de la sécheresse de type météorologique

se répandent de plus en plus, tandis que dans d’autres régions du monde, en particulier en Afrique, il y a longtemps que l’on utilise cette technique pour déterminer les conditions de sécheresse. Le Système d’alerte rapide aux risques de famine (FEWS) et d’autres réseaux de même type utilisent des données en points de grille dans leurs analyses. Il existe une multitude d’exemples de produits présentant des données météorologiques aux points de grille pour répondre aux besoins du suivi de la sécheresse, en Australie, en Chine, au Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d’Irlande du Nord ou aux États-Unis.

Pour dresser une carte à l’aide de données en points de grille, les données sont mathématiquement corrélées aux points d’une maille dont le côté est sélectionné en fonction de la résolution que doit présenter le produit. Il est ensuite créé une surface interpolée entre les points de grille (et non pas entre les points d’origine des données). À titre d’exemple, le Centre climatologique régional des hautes plaines (HPRCC) établit chaque jour, en partenariat avec le Centre national de lutte contre la sécheresse (NDMC), une carte de l’indice de précipitations normalisé, pour les États-Unis, mais aussi à l’échelle de la région et de l’État.



Source: Centre climatologique régional des hautes plaines, États-Unis d’Amérique

Exemple d’une carte de l’indice SPI sur 3 mois (du 1er mai 2011 au 31 juillet 2011)

Les cartes de l’indice SPI sont établies à l’aide du système GrADS (logiciel graphique de visualisation et d’analyse à l’échelle d’une grille). Les données discrètes de l’indice SPI par stations sont interpolées par l’analyse objective de Cressman suivant un rayon d’influence de 10, 7, 4, 2 et 1. La résolution de la grille est de 0,4 degré. Des cartes d’isolignes en points de grille sont créées à l’échelle nationale et régionale, ainsi que pour chaque État, notamment pour la région des hautes plaines. Les cartes nationales sont dressées en projection stéréographique polaire, tandis que les cartes régionales et celles des États adoptent une représentation latitude/longitude (lat/lon) qui conserve le rapport des surfaces. Cette interface et les types de produits mentionnés peuvent être consultés à l’adresse suivante: http://www.hprcc.unl.edu/maps/current/.

Pour cartographier avec succès les conditions de sécheresse météorologique, encore faut-il disposer de données de qualité. Plusieurs facteurs déterminent la qualité des données concernant un indicateur ou un indice de sécheresse, notamment la disponibilité des données, le moment où les données ont été relevées, la qualité des données historiques de la station, la transmission des données en temps quasi réel, la maintenance du réseau des stations d’observation et la capacité de mesurer les précipitations à des températures basses, en particulier en ce qui concerne les

stations situées dans des régions septentrionales ou montagneuses. Certains de ces points sont liés à la capacité de transmettre des données en temps voulu, un élément qui peut se révéler essentiel quand il est question de sécheresse météorologique. Pour finir, la densité des données joue un rôle prépondérant dans la résolution spatiale qu’il est possible d’atteindre quand on cartographie des données sur la sécheresse.

Essayer d’atteindre la résolution spatiale requise par les décideurs compte tenu de l’information à disposition de nos jours représente une des difficultés majeures à surmonter quand on veut dresser des cartes sur la sécheresse météorologique. La contrainte est liée à la densité des données ponctuelles qui peut ne pas correspondre à la résolution souhaitée par les décideurs. À ce sujet, le fait de savoir que des produits de télédétection peuvent pallier ce manque, demeure encourageant. Certains de ces produits proposent des données suivant une résolution spatiale intéressante pour des régions dans lesquelles les données ponctuelles in situ sont relativement rares et peu fiables. La plupart des produits satellitaires sont déjà incorporés dans le type de maille (ou pixel) décrit ci-devant. Aux États-Unis d’Amérique, on met à présent au point des produits qui allient les données des stations d’observation aux données de télédétection. Les données provenant des stations permettent d’ajuster les données de télédétection et les cartes «hybrides» qui en résultent offrent un degré plus élevé de précision.

Afin de cartographier la sécheresse météorologique, il faut aussi régler de réels problèmes liés à la topographie, en particulier ceux que posent les montagnes et les terrains accidentés. Deux raisons expliquent le défi à relever dans ce cas. Premièrement, la densité des données tend à être relativement faible dans les régions montagneuses. Deuxièmement, en cas de variations rapides et importantes du terrain, on se trouve souvent en présence de relations discontinues entre régions adjacentes, en ce qui concerne les précipitations. Comme les méthodes d’interpolation reposent souvent sur de telles corrélations, les surfaces lissées par interpolation représentées sur la carte sous sa forme définitive peuvent ne pas correspondre à la variabilité naturelle, en particulier dans le cas d’indicateurs ou indices des précipitations.

Compte tenu de la complexité des données sur les sécheresses météorologiques et des caractéristiques propres aux techniques de cartographie, il importe que les décideurs soient conscients des facteurs qui viennent d’être abordés pour interpréter les cartes leur proposant une représentation de l’intensité et de l’étendue spatiale des conditions de sécheresse.

BIBLIOGRAPHIE

Edwards, D. C. et T. B. McKee, 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report* 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Guttman, N.B., 1994: On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of Climate*, 7(6):1026–1029.

Guttman, N.B., 1998: Comparing the Palmer drought index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1):113–121.

———, 1999: Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2):311–322.

McKee, T.B., N.J. Doesken et J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, du 17 au 22 janvier 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.

———, 1995: Drought monitoring with multiple timescales. In: *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*, Dallas, Texas, du 15 au 20 janvier 1995. Boston American Meteorological Society, 233–236.

Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería et J.I. López-Moreno, 2010: A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate,* 23(7):1696–1718, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.

Wilhite, D.A. et M.H. Glantz, 1985: Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10:111–120.

Wu, H., M.D. Svoboda, M.J. Hayes, D.A. Wilhite et F. Wen, 2007: Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, 27(1):65–79.

AUTRES RESSOURCES EN LIGNE

http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx

http://drought.mssl.ucl.ac.uk/spi.html

http://www.wrcc.dri.edu/spi/spi.html

http://ccc.atmos.colostate.edu/standardizedprecipitation.php

http://www.wmo.int/drought

Pour obtenir de plus amples renseignements, veuillez vous adresser à:

Organisation météorologique mondiale

7 bis, avenue de la Paix – Case postale 2300 – CH 1211 Genève 2 – Suisse

Bureau de la communication et des relations publiques

Tél.: +41 (0) 22 730 83 14 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Courriel: cpa@wmo.int

Département du climat et de l'eau

Tél.: +41 (0) 22 730 83 05 – Fax: +41 (0) 22 730 80 42

Courriel: agm@wmo.int

www.wmo.int/agm

JN 131246